

References (transliterated)

1. *Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniya. V desyati tomakh. Vol. 1. "Mekhanika reza-niya materialov"* [Physical and mathematical theory of material processing and engineering technology. In ten volumes. Vol. 1. «Mechanics of material cutting»]. Ed. F. V. Novikov, A. V. Yakimov. Odessa, ONPU Publ., 2002. 580 p.
2. Novikov F. V. *Osnovy matematicheskogo modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoy obrabotki : monografiya* [Fundamentals of Mathematical Modeling of Technological Processes of Mechanical Processing : Monograph]. Dnepr, LIRA Publ., 2018. 400 p.
3. Lur'ye G. B. *Progressivnyye metody kruglogo naruzhnogo shlifovaniya* [Progressive methods of external round grinding]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 103 p.
4. Novoselov Yu. K. *Dinamika formoobrazovaniya poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke* [Dynamics of formation of surfaces during abrasive machining]. Saratov, 1979. 232 p.
5. Yakimov A. V. *Abrazivno-almaznaya obrabotka fazonnykh poverkhnostey* [Abrasive-diamond processing of shaped surfaces]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1984. 212 p.
6. Matalin A. A. *Tekhnologiya mashinostroyeniya : uchebnik* [Engineering Technology : textbook]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 496 p.
7. Polyanskiy V. I. Rasshireniye tekhnologicheskikh vozmozhnostey povysheniya tochnosti mekhanicheskoy obrabotki otverstiy [Expansion of technological capabilities to improve the accuracy of machining holes]. *Perspektivny tekhnologii ta pryklady : Zbirnyk naukovykh prats'* [Perspective technologies and devices: Collection of scientific works]. Luts'k, Luts'kyi NTU Publ., 2017, no. 11 (2), pp. 87–92.
8. Ryabenkov I. O. *Pidvyshchennya efektyvnosti finishnoyi obrobky detaley gidroaparatury na osnovi vyboru ratsional'noyi struktury i parametriv operatsiy: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : spets. 05.02.08 "Tekhnologiya mashynobuduvannya"* [Increasing the efficiency of finishing the details of hydroequipment on the basis of the choice of rational flow and operation parameters: author's abstract, dis. Candidate Tech. Sciences : specialty 05.02.08 "Technology of mechanical engineering"]. Odesa, 2009. 21 p.

Поступила (received) 17.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Полянський Володимир Іванович (Полянский Владимир Иванович, Polyansky Vladimir Ivanovich) – кандидат технічних наук, Генеральний директор, ООО «Імперія металлов», м. Харків; тел.: (067) 578-09-06; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

УДК 631.37

О. Ю. РЕБРОВ

РОЗПОДІЛ ДОПУСТИМОГО ТИСКУ НА ҐРУНТ ХОДОВИХ СИСТЕМ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ЗА ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

Запропоновано методику оцінки впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів згідно встановленому розподілу за територією України допустимого тиску на ґрунт колісних тракторів відповідно до вимог стандарту та урахуванням особливостей ґрунто-кліматичних умов та фактичних середньобагаторічних параметрів вмісту вологи в ґрунті в середньобагаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту під ранні ярові культури навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період.

Ключові слова: колісний трактор, ходові системи, максимальний тиск на ґрунт, допустимий тиск на ґрунт, параметри вмісту вологи в ґрунті.

А. Ю. РЕБРОВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГРУНТ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ ПО ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Предложена методика оценки воздействия на почву ходовых систем колесных тракторов согласно установленному распределению по территории Украины допустимого давления на почву колесных тракторов в соответствии с требованиями стандарта и учетом особенностей почвенно-климатических условий и фактических среднесезонных параметров содержания влаги в пашне в среднесезонные сроки проведения работ при подготовке почвы под ранние яровые культуры весной и под озимую пшеницу в летне-осенний период.

Ключевые слова: колесный трактор, ходовые системы, максимальное давление на грунт, допустимое давление на грунт, параметры содержания влаги в пашне.

О. YU. REBROV

DISTRIBUTION OF ADMISSIBLE PRESSURE OF RUNNING GEARS OF COLLECTOR TRACTORS ON THE SOIL THROUGHOUT THE TERRITORY OF UKRAINE

The paper proposes a methodology for estimating the impact on the soil of the running systems of wheeled tractors according to the established distribution throughout the territory of Ukraine of permissible pressure on the soil in accordance with standard requirements and taking into account the peculiarities of soil and climatic conditions and the actual long-term average moisture content parameters in arable land during the long-term average work period of preparing the soil for early spring crops and under winter wheat in the summer-autumn period. The maximum pressure on the soil for modern tires of agricultural tractors is in the range of 78 – 177 kPa. At such a maximum pressure, the probability of a tire fulfilling the requirements of the standard for the performance of running gears on the soil will be in the range from 0.078 – 0.104 to 0.698 – 0.730. It is necessary to use conversion track systems or crawler tractors to ensure an impact on the soil within the limits of permissible in the cultivation of agricultural land, the area of which is more than 27 – 30 % of Ukraine's territory. The use of conversion track systems allows to reduce the maximum pressure on the soil by 65 %, which greatly improves the environmental friendliness of the tractors.

Key words: wheeled tractor, running gears, maximum pressure on the soil, permissible pressure on the soil, parameters of moisture content in arable land.

© О. Ю. Ребров, 2018

Вступ. Забезпечення високої врожайності сільськогосподарських культур при одночасному підвищенні родючості ґрунтів та ефективності сільськогосподарського виробництва можливе при суттєвому зниженні негативного руйнівного впливу колісних ходових систем на ґрунт та його жорсткого нормування.

Норми дії ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунти зазнали суттєвих змін з 1 січня 2007 року введенням Україною власного стандарту [1] замість діючого в колишньому СРСР [2].

Тому оцінка впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів та встановлення розподілу за територією України допустимого тиску на ґрунт відповідно до діючих вимог стандарту з урахуванням особливостей ґрунто-кліматичних умов та фактичних середньобогаторічних параметрів вмісту вологи в ріллі в середньобогаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту під ранні ярові культури навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш ефективний механічний обробіток спостерігається при відповідному стані ґрунту, який визначається, насамперед, гранулометричним складом, рівноважною щільністю у верхньому шарі, наявністю вологи та рядом інших факторів [3 – 7].

Стан ґрунту, що є оптимальним для механічного обробітку, відповідає фізичній стиглості. Фізична стиглість ґрунту різного гранулометричного складу настає при різній вологості в доволі вузькому інтервалі значень. Підвищення вологості спричиняє вразливість ґрунту до ущільнення, що може суттєво знизити ефективність його обробітку. Тому, виключно стан ґрунту визначає час, вид та інтенсивність сільськогосподарських технологій механічного обробітку. Найбільш інтенсивно сільськогосподарські операції механічного обробітку ґрунту на території України проводяться навесні під час його підготовки під ранні ярові культури і восени – під озиму пшеницю [3 – 7].

Стискання ґрунту, в ході якого він руйнується, є найбільш небажаним тому, що після такого впливу порушується здатність ґрунту відновлювати вихідні характеристики. Так може бути порушена здатність ґрунту відновлюватися – фундаментальна характеристика, що є визначальною для збереження усереднених параметрів ґрунту в часі при антропогенному навантаженні.

Виявлені факти принципів різниці в післядії на ґрунт різних способів деформування послужили основою для обґрунтування допустимого рівня впливу на ґрунт ходових систем машино-тракторних агрегатів [1, 3 – 7]. Допустимий рівень впливу на ґрунт не повинен перевищувати суму опорів розриву і здвигу. Після навантажень, що дорівнюють цим опорам, ґрунт відновлює свої усереднені показники за час зимово-весняних циклів замерзання-розмерзання. Проте питаннями аналізу і прогнозування відповідності максимального тиску на ґрунт колісних тракторів з урахуванням особливостей ґрунто-кліматичних умов та фактичних середньобогаторічних параметрів вмісту вологи в ріллі в середньобогаторічні терміни проведення робіт навесні та в літньо-осінній період уваги не приділено.

Метою роботи є розробка методики оцінки впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів та встановлення розподілу за територією України допустимого тиску на ґрунт відповідно до вимог стандарту з урахуванням особливостей ґрунто-кліматичних умов та фактичних середньобогаторічних параметрів вмісту вологи в ріллі в середньобогаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту під ранні ярові культури навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період. В подальшому методика може використовуватися при обґрунтуванні комплектації тракторів типорозмірами шин, а також при прогнозуванні техніко-економічних показників тракторів і машино-тракторних агрегатів.

Розподіл допустимого тиску на ґрунт ходових систем за територією України. Вихідними даними для визначення розподілу за територією України допустимого тиску на ґрунт колісних тракторів, безумовно, є вимоги стандарту [1].

Таблиця 1 – Вологість ґрунту під час проведення передпосівного і основного обробітку [3, 5]

Передпосівний обробіток ґрунту			Основний обробіток ґрунту		
Вологість ґрунту в долях фізичної стиглості (ФС)	Площа ріллі		Вологість ґрунту в долях фізичної стиглості (ФС)	Площа ріллі	
	%	млн. га		%	млн. га
–	–	–	< 0,7	4,9	1,5
< 0,8	9,4	2,8	0,7 – 0,8	8,1	2,4
0,8 – 0,9	5,0	1,5	0,8 – 0,9	59,1	17,7
0,9 – 1,0	75,8	22,7	0,9 – 1,0	14,1	4,2
> 1,0	9,9	3,0	> 1,0	13,8	4,2

Великий обсяг досліджень і систематизацію даних щодо стану ґрунтів України проведено в роботах професора В. В. Медведєва [3 – 7]. Він запропонував методи і сучасну інформаційну базу даних стосовно стану ґрунтів, а також синтезу ґрунтових карт України з вихідними і похідними розрахунковими параметрами. Сутність запропонованих методів полягає в формуванні і постійному оновленні за результатами моніторингу стану земельних ресурсів сільськогосподарського призначення окремих ґрунто-кліматичних зон України, а також синтезу картографічного і статистичного матеріалів за окремими показниками ґрунтів. Так, в роботах [3, 5] наведені дані

відносно фактичних середньобагаторічних параметрів вмісту води в ріллі України в середньобагаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту під ранні ярові культури навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період (табл. 1).

Розподіл вологості ґрунтів України за даними [3, 5] (табл. 1) наведений у долях фізичної стиглості (ФС), яка має відповідний розподіл за територією держави. Розрахунок допустимого тиску на ґрунт, згідно [1], проводиться залежно від вологості ґрунту у долях найменшої вологоємності (НВ).

Вологість фізичної стиглості і найменша вологоємність – це пов’язані характеристики ґрунтів. Фізична стиглість ґрунтів різного гранулометричного складу знаходиться в межах 0,6 – 0,8 НВ. В такому стані ґрунти мають найнижчу міцність (рис. 1), тому питомий опір механічному обробітку та енергоємність технологічного процесу будуть найменшими.

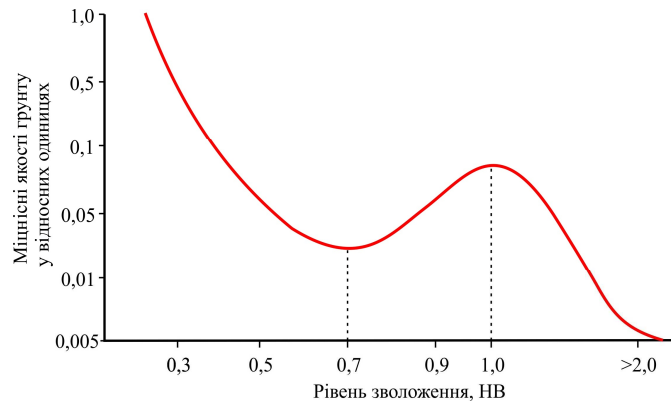


Рис. 1 – Залежність міцності ґрунту від рівня зволоження.

При суттєвому перезволоженні механічна міцність ґрунтів теж знижується, але механічний обробіток стає неможливим внаслідок низької несучої здатності ґрунту.

Зробимо припущення, що вологість ґрунту під час проведення передпосівного і основного обробітку є випадковою величиною, яка має нормальний або логарифмічно нормальний розподіл за територією України. Це припущення дозволяє отримати математичне очікування і середньоквадратичне відхилення розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт [1, табл. 1] під час проведення передпосівного (навесні) і основного (восени) обробітку.

Допустимий тиск тракторної шини на ґрунт визначається відповідно до нормативної величини допустимого тиску і поправок, які враховують режим роботи шини, висоту протектору і число проходів по одному сліду.

Використовуючи дані робіт [3, 5] (табл. 1), можна визначити оцінку математичного очікування вологості ґрунту у долях фізичної стиглості під час обробітку:

$$M[\Phi C] = \sum_{i=1}^n \Phi C_i \cdot \tau_i, \quad (1)$$

де ΦC_i – вологість ґрунту під час проведення передпосівного або основного обробітку в долях фізичної стиглості в i -му інтервалі; τ_i – доля ґрунтів України в i -му інтервалі.

Для передпосівного і основного обробітку оцінка математичного очікування складає: $M[\Phi C]_{\text{пп}} = 0,927\Phi C$, $M[\Phi C]_{\text{осн}} = 0,878\Phi C$ відповідно.

Враховуючи, що $\Phi C = 0,7$ НВ, згідно [1], отримуємо оцінку математичного очікування нормативної величини допустимого тиску на ґрунт. Під час проведення передпосівного обробітку для пухкого і помірно ущільненого ґрунту: $M[q_n]_{\text{пп,пх}} = 60$ кПа, $M[q_n]_{\text{пп,пом}} = 100$ кПа, та під час основного обробітку для ущільненого і рівноважного ґрунту: $M[q_n]_{\text{осн,ущ}} = 120$ кПа, $M[q_n]_{\text{осн,рів}} = 147$ кПа.

Оцінка середньоквадратичного відхилення нормативної величини допустимого тиску на ґрунт під час проведення передпосівного обробітку для пухкого і помірно ущільненого ґрунту: $\sigma[q_n]_{\text{пп,пх}} = 18$ кПа, $\sigma[q_n]_{\text{пп,пом}} = 31$ кПа, та під час основної обробки для ущільненого і рівноважного ґрунту: $\sigma[q_n]_{\text{осн,ущ}} = 36$ кПа, $\sigma[q_n]_{\text{осн,рів}} = 44$ кПа.

Для передпосівного обробітку приймаємо логарифмічно нормальний, а для основного – нормальний закони розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт з параметрами:

$$M_{\text{пп,пх}} = 4,051 \left(e^{M_{\text{пп,пх}}} = 57,5 \text{ кПа} \right), \sigma_{\text{пп,пх}} = 0,294; M_{\text{пп,пом}} = 4,559 \left(e^{M_{\text{пп,пом}}} = 95,5 \text{ кПа} \right), \sigma_{\text{пп,пом}} = 0,303;$$

$$M_{\text{осн,ущ}} = 120 \text{ кПа}, \sigma_{\text{осн,ущ}} = 36 \text{ кПа}; M_{\text{осн,рів}} = 147 \text{ кПа}, \sigma_{\text{осн,рів}} = 44 \text{ кПа}.$$

Тоді щільність ймовірності загального закону розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт можна визначити залежністю:

$$f([q_n]) = \sum_{i=1}^4 \tau_i \cdot f([q_n]_i), \quad (2)$$

де $f([q_n]_i)$ – щільності ймовірності розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт розглянутих чотирьох станів ґрунту ($i = 1, \dots, 4$) з наведеними параметрами (рис. 2); τ_i – частка відповідного стану ґрунту в річному обсязі робіт з механічної обробки, яку приймаємо однаковою для всіх станів.

Щільність ймовірності загального закону розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт за територією України наведена на рис. 3.

Отримані дані дають змогу оцінити відповідність трактора або машино-тракторного агрегату нормам дії його ходової системи на ґрунт.

Згідно стандарту України [1], допустимий тиск на ґрунт:

$$[q] = [q_n] \cdot k_\Sigma, \quad (3)$$

де k_Σ – коефіцієнт, що враховує умови роботи рушія; $[q_n]$ – нормативна величина допустимого тиску [1, табл. 1].

При русі колісного трактора по ґрунту необхідне виконання умови:

$$q_{\max} \leq [q], \quad (4)$$

де q_{\max} – максимальний тиск шини на ґрунт, що визначається згідно стандарту України [8].

З урахуванням (3) нерівність (4) приймає вигляд:

$$\frac{q_{\max}}{k_\Sigma} \leq [q_n]. \quad (5)$$

Після визначення максимального тиску тракторної шини на ґрунт, згідно [8], ймовірність виконання умови (5), тобто відповідності трактора або машино-тракторного агрегату нормам дії його ходової системи на ґрунт [1] з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України можна розрахувати з використанням залежності:

$$P\left(\frac{q_{\max}}{k_\Sigma} \leq [q_n]\right) = F([q_n]) = 1 - \int_0^{q_{\max}} f([q_n]) d[q_n]. \quad (6)$$

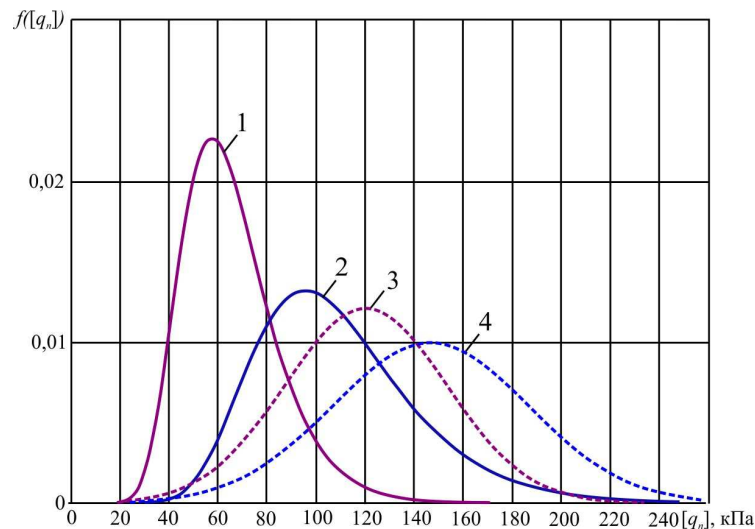


Рис. 2 – Щільності ймовірності розподілу нормативної величини допустимого тиску на ґрунт:

1 – передпосівний обробіток (пухкий ґрунт); 2 – передпосівний обробіток (помірно ущільнений ґрунт); 3 – основний обробіток (ущільнений ґрунт); 4 – основний обробіток (рівноважний ґрунт).

Функція розподілу ймовірності нормативної величини допустимого тиску на ґрунт (6) (рис. 4) свідчить про більш жорсткі вимоги щодо дії на ґрунт у порівнянні зі стандартом, що діяв раніше [9, 10].

Аналіз результатів дослідження. Відповідно до запропонованої методики, був проаналізований вплив сільськогосподарських тракторних шин на ґрунт, який базується на даних таких відомих виробників шин, як *Michelin, Trelleborg, Good Year, Firestone, Mitas*.

Дані виробників тракторних сільськогосподарських шин свідчать про те, що середній тиск на жорстку основу при мінімально допустимому внутрішньому тиску повітря в шині знаходиться в межах 60 – 130 кПа. Відповідно до стандарту України [8], який повністю відповідає заміненому стандарту [11], максимальний тиск на

грунт для шин енергонасичених тракторів можна прийняти рівним 78 – 177 кПа. Розрахунки показують, що в такому інтервалі максимального тиску на грунт ймовірність виконання вимог стандарту [1] буде знаходитись в межах від 0,078 – 0,104 до 0,698 – 0,730.

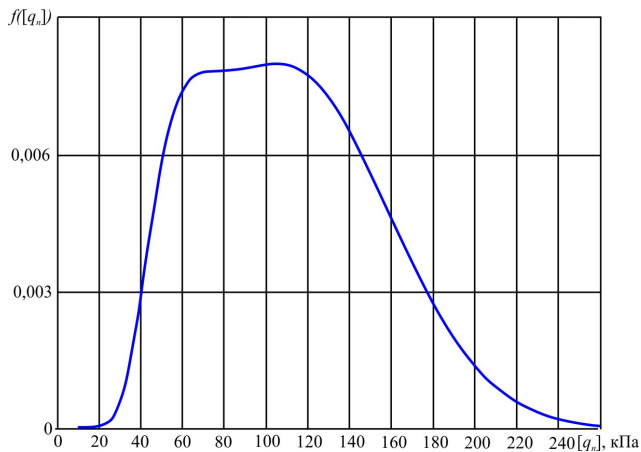


Рис. 3 – Щільність ймовірності загального закону розподілу нормативної величини допустимого тиску на грунт за територією України.

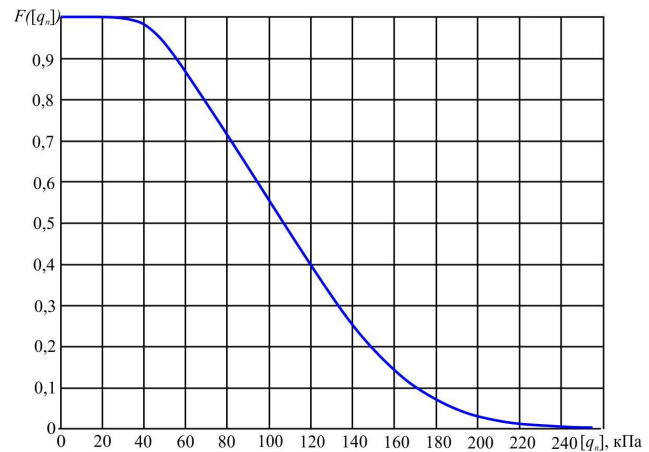


Рис. 4 – Функція розподілу ймовірності нормативної величини допустимого тиску на грунт для аналізу відповідності ходової системи вимогам ДСТУ.

Отриманий результат свідчить про те, що сучасні, навіть інноваційні шини категорій IF та VF, не задовольняють агроекологічним вимогам щодо дії ходових систем на грунт на всій території України, а максимум на 70 – 73 % площі сільськогосподарських угідь. Головним чином це проявляється при передпосівному обробітку ґрунту. Тому на весняних польових роботах необхідно застосовувати змінні гусеничні рушії або гусеничні трактори, щоб забезпечити вплив на грунт в межах екологічно допустимого при обробітку сільськогосподарських угідь, площа яких складає понад 27 – 30 % території України.

За даними провідних виробників змінних гусеничних рушіїв сільськогосподарських тракторів, таких як *Camso*, *Soucy Track*, *Zuidberg* [12], максимальний тиск на грунт при заміні колісного рушія на гусеничний може бути зменшений на 65%. Тому така комплектація тракторів є перспективною як з позицій більш ефективних тягових показників, так і з позицій екологічної безпеки.

Наведені дані можуть бути використані в якості вихідних для аналізу і прогнозування парку колісних і гусеничних тракторів, а також розгляду питання щодо активного впровадження змінних гусеничних рушіїв для тракторів, виконаних за схемами 4K4a та 4K4b.

Також слід відзначити, що здвоювання шин повною мірою не вирішить проблему відповідності максимального тиску на грунт колісних тракторів вимогам стандарту за всією територією України, хоча використання інноваційних здвоєних шин з низьким внутрішнім тиском ($0,4 - 0,5 \text{ кг/см}^2$) суттєво розширить область застосування таких тракторів, особливо на весняно-польових роботах.

Оскільки максимальний допустимий тиск на грунт становить 210 кПа [6], а середній тиск на грунт перевищує внутрішній тиск повітря в шині залежно від її характеристик на 10 – 40 кПа (в середньому на 30 кПа), то при внутрішньому тиску повітря в шині понад 120 кПа ($1,2 \text{ кг/см}^2$) жодна шина не задовольнятиме нормам дії на ґрунті України взагалі.

Так, наприклад, шина 23,1 R26, якою комплектуються трактори виробництва Харківського тракторного заводу, при мінімально допустимому внутрішньому тиску повітря 60 кПа ($0,6 \text{ кг/см}^2$) має максимальний тиск на грунт 139 – 142 кПа, що забезпечує відповідність нормам тиску на грунт з ймовірністю 0,24 – 0,26. Тобто, ця шина може експлуатуватися на 24 – 26 % території України без порушення вимог стандарту [1] і майже виключно під час основного обробітку ґрунту.

Враховуючи різноманітність ґрунто-кліматичних умов України, питання відповідності окремих типорозмірів і конструкцій шин нормам максимального тиску на грунт потребує подальшої розробки і уточнення з метою виявлення відповідності окремих шин різним ґрунтовим зонам, а також таких шин, які за своїми характеристиками не можуть використовуватись як такі, що шкідливо впливають на грунт і сприяють його деградації.

Загалом наведена методика оцінки відповідності максимального тиску на грунт тракторної шини агроекологічним вимогам з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України може використовуватись при проектуванні і модернізації існуючих тракторів, а також при розгляді питання комплектування трактора шинами і змінними гусеничними рушійми.

Перспективи подальших досліджень. Матеріал, наведений у статті, є достатнім для аналізу відповідності тракторних сільськогосподарських шин вимогам стандарту щодо норм дії рушіїв на грунт. Проте, у близькій перспективі наведена методика може стати складовою комплексної методики з оцінки технічного рівня та тягових показників колісних тракторів.

Висновки. Норми дії ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунти зазнали суттєвих змін та стали більш жорсткими з введенням Україною власного стандарту.

Дані щодо особливостей ґрунто-кліматичних умов України та фактичного середньобагаторічного вмісту вологи в ріллі в середньобагаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту під ранні ярові культури навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період дають змогу поставити їх у відповідність нормам дії ходових систем колісних тракторів на ґрунт.

Запропонована методика оцінки впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів згідно отриманого розподілу за територією України допустимого тиску на ґрунт та відповідно до діючих вимог стандартів дає змогу аналізувати екологічність існуючих та створюваних конструкцій рушіїв колісних тракторів.

Максимальний тиск на ґрунт для сучасних, у тому числі інноваційних сільськогосподарських шин категорій IF та VF, знаходиться в межах 78 – 177 кПа. При такому максимальному тиску ймовірність виконання шиною вимог стандарту щодо дії ходових систем на ґрунт буде знаходитися в межах від 0,078 – 0,104 до 0,698 – 0,730. Це свідчить про те, що навіть найкращі на сьогодні зразки тракторних сільськогосподарських шин не задовольняють агроекологічним вимогам щодо дії ходових систем на ґрунт на всій території України, а максимум тільки на 70 – 73 % площі сільськогосподарських угідь.

Проблема високого тиску на ґрунт особливо гостро стоїть при весняних польових роботах. Тому необхідно застосовувати змінні гусеничні рушії або гусеничні трактори, щоб забезпечити вплив на ґрунт в межах екологічно допустимого при обробітку сільськогосподарських угідь, площа яких складає понад 27 – 30 % території України. За даними провідних виробників змінних гусеничних рушіїв для колісних тракторів впровадження гусеничних ходових систем дає змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на 65%, що суттєво покращує екологічність тракторів.

Здвоювання шин повною мірою не вирішить проблему відповідності максимального тиску на ґрунт колісних тракторів вимогам стандарту за всією територією України, хоча використання інноваційних здвоєних шин з низьким внутрішнім тиском ($0,4 - 0,5 \text{ кг/см}^2$) суттєво розширить область застосування таких тракторів, особливо в осінньо-польових роботах.

При внутрішньому тиску повітря в шині понад 120 кПа ($1,2 \text{ кг/см}^2$) жодна з існуючих шин взагалі не задовольнить нормам дії на ґрунти України.

Одна з поширених на вітчизняних тракторах шина 23,1 R26 при мінімально допустимому внутрішньому тиску повітря 60 кПа ($0,6 \text{ кг/см}^2$) забезпечує відповідність нормам тиску на ґрунт з ймовірністю 0,24 – 0,26. Ця шина може експлуатуватися на 24 – 26 % території України без порушення вимог стандарту виключно під час основного обробітку ґрунту.

Список літератури

1. ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. – К. : Держстандарт України, 2007. – 9 с.
2. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 7 с.
3. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. – Харьков : Изд. "13 типография", 2007. – 395 с.
4. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты). – Харьков : Апостроф, 2011. – 292 с.
5. Медведев В. В. Физические свойства и обработка почв в Украине. – Харьков : Изд-во. "Городская типография", 2013. – 224 с.
6. Медведев В. В. Нулевой обробіток ґрунту в європейських країнах. – Харків : ТОВ "ЕДЕНА", 2010. – 202 с.
7. Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. (2-ое пересмотренное и дополненное издание). – Харьков: КП "Городская типография", 2012. – 536 с.
8. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. – К. : Держстандарт України, 2006. – 9 с.
9. Ребров О. Ю. Аналіз відповідності максимального тиску на ґрунт тракторної шини агроекологічним вимогам імовірнісним методом з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України // Вісник НТУ «ХПІ» : 36. наук. пр. Сер. : Транспортне машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 58 – 64.
10. Ребров О. Ю. Інтегральна імовірнісна оцінка відповідності тракторної шини агроекологічним вимогам в ґрунто-кліматичних умовах України // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – №6 (1228). – С. 127 – 136.
11. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия на почву. – М. : Издательство стандартов, 1986.
12. Soucy Track – 2013. – 15 p. – Режим доступу: http://www.soucy-track.com/en-CA/gpc/_media/Document/ag2013en.pdf. – Дата звертання : 10 жовтня 2018.

References (transliterated)

1. DSTU 4521:2006. *Tekhnika sil'skogospodars'ka mobil'na. Normy diyi khodovykh system na grunt* [Mobile agricultural machinery. Norms of the running system impact on the soil]. Kyiv, Derzstandart Ukrainy Publ., 2007. 9 p.
2. GOST 26955-86. *Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Normy vozdeystviya dvizhiteley na pochvu* [Mobile agricultural machinery. Rates of impact of propelling agents on soil]. Moscow, Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam Publ., 1986. 7 p.
3. Medvedev V. V., Laktionova T. N. *Pochvenno-tekhnologicheskoe rayonirovaniye pakhotnykh zemel' Ukrainy* [Soil and technological regionalization of arable land in Ukraine]. Kharkov, Izd. "13 tipografiya" Publ., 2007. 395 p.
4. Medvedev V. V., Laktionova T. N. *Granulometricheskii sostav pochv Ukrainy (geneticheskii, ekologicheskii i agronomicheskii aspekty)* [Grain size distribution of soils of Ukraine (genetic, environmental, and agronomic aspects)]. Kharkov, Apostrof Publ., 2011. 292 p.
5. Medvedev V. V. *Fizicheskie svoystva i obrabotka pochv v Ukraine* [Physical properties and treatment of soils in Ukraine]. Kharkov, Izd-vo. "Gorodskaya tipografiya" Publ., 2013. 224 p.
6. Medvedev V. V. *Nulyovyy obrobityok gruntu v yevropeys'kykh krayinakh* [Zero tillage in Europe]. Kharkiv, TOV "EDENA" Publ., 2010. 202 p.
7. Medvedev V. V. *Monitoring pochv Ukrainy. Kontseptsiya. Itogi. Zadachi. (2-oe peresmotrennoe i dopolnennoe izdanie)* [Monitoring of Ukraine

- soil. Concept. Results. Tasks. (2nd revised and expanded edition)]. Kharkov, KP "Gorodskaya tipografiya" Publ., 2012. 536 p.
8. DSTU 4428:2005. *Tekhnika sil's'kogospodars'ka mobil'na. Metody vyznachennya diy khodovykh system na grunt* [Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of running gears on soil]. Kyiv, Derzstandart Ukrainy Publ., 2006. 9 p.
 9. Rebrov O. Yu. Analiz vidpovidnosti maksimal'nogo tysku na grunt traktornoї shyny agroekologichnym vymogam imovirnsnym metodom z urakhuvannyam grunto-klimatichnykh umov Ukrainy [Analysis of compliance of tractor tires maximum pressure on soil with agro-ecological requirements by using probabilistic method taking into account soil and climatic conditions of Ukraine]. *Visnyk NTU "KhPI" : Zb. nauk. pr. Ser.: Transportne mashynobuduvannya* [Bulletin of NTU "KhPI", Series : Transport Engineering]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 14 (1236), pp. 58–64.
 10. Rebrov O. Yu. Integral'na imovirnisna otsinka vidpovidnosti traktornoї shyny agroekologichnym vymogam v grunto-klimatichnykh umovakh Ukrainy [Integral probabilistic evaluation of the conformity of the tractor tire to agro-ecological requirements under the soil and climatic conditions of Ukraine]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya : Matematychni modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh* [Bulletin of National Technical University «KhPI», Series: Mathematical modeling in engineering and technologies]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 6 (1228), pp. 127–136.
 11. GOST 26953-86. *Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Metody opredeleniya vozdeystviya na pochvu* [Mobile agricultural machinery. Methods for determining impact on soil]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1986.
 12. Soucy Track. 2013. 15 p. Available at : http://www.soucy-track.com/en-CA/gpc/_media/Document/ag2013en.pdf. (accessed 10.10.2018).

Надійшла (received) 26.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Ребров Олексій Юрійович (Ребров Алексей Юрьевич, Rebrov Oleksiy Yuriyovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (057) 707-64-64; e-mail: alexrebrov0108@gmail.com.

УДК 629.7.05

В. Б. УСПЕНСКИЙ, М. В. НЕКРАСОВА, И. А. БАГМУТ

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ БИНС ПО ИЗМЕРЕНИЯМ КАЖУЩЕГОСЯ УСКОРЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА, КОТОРЫЙ БЫСТРО ВРАЩАЕТСЯ

Предложен метод повышения точности определения ориентации в бесплатформенной инерциальной навигационной системе для быстровращающегося вокруг продольной оси объекта. Метод основан на использовании измерений вектора кажущегося ускорения от специально размещенных акселерометров для периодической коррекции угла крена. Показано, что разработанный способ существенно ограничивает ошибку определения угла крена. Сформулирован сам алгоритм коррекции, применение которого позволяет значительно повысить точность определения ориентации, что было доказано при моделировании.

Ключевые слова: кажущееся ускорение, датчик, ориентация, акселерометр, гироскоп, угол крена, навигация, инерциальная система.

В. Б. УСПЕНСЬКИЙ, М. В. НЕКРАСОВА, И. А. БАГМУТ

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ БІНС З ВИМІРЮВАННЯ УЯВНОГО ПРИСКОРЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТА, ЩО ШВИДКО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Запропоновано метод підвищення точності визначення орієнтації в безплатформовій інерціальній навігаційній системі для об'єкта, що швидко обертається навколо поздовжньої осі. Метод заснований на використанні вимірювань вектору позірною (уявним?) прискорення від спеціальним чином розміщених акселерометрів для періодичної корекції куту крену. Доведено, що розроблений спосіб суттєво зменшує похибку визначення куту крену. Сформульований сам алгоритм корекції, застосування якого дозволяє значно підвищити точність визначення орієнтації, що було доведено при моделюванні.

Ключові слова: позірне прискорення, датчик, орієнтація, акселерометр, гіроскоп, кут крену, навігація, інерціальна система.

V. B. USPENSKIY, M. V. NEKRASOVA, I. A. BAGMUT

METHOD OF INCREASING THE ACCURACY OF BINS ACCORDING TO MEASUREMENTS OF APPEARING ACCELERATION FOR CONTROLL OF FAST ROTATING OBJECT

A method for increasing the accuracy of determining the orientation in a strapdown inertial navigation system for an object rotating fast around the longitudinal axis is proposed. The method is based on the use of measurements of the apparent acceleration vector from specially arranged accelerometers for periodic correction of the roll angle. It is shown that the developed method significantly limits the error in determining the roll angle. The correction algorithm itself is formulated, the use of which can significantly improve the accuracy of orientation determination, which has been proven in modeling. This method can be used to construct high-precision control systems.

Key words: apparent acceleration, sensor, orientation, an accelerometer, roll angle, navigation, a gyroscope, a correction angle of roll error, inertial system, traffic control.

Введение. Использование *бесплатформенной инерциальной навигационной системы* (БИНС) для высокودинамического объекта является проблематичным из-за сильного влияния мультипликативных погрешностей датчиков на точность работы системы. Один из возможных способов повышения точности БИНС состоит в периодической коррекции вектора состояния с помощью информации от спутниковых радионавигационных систем. Однако недостатками такого способа являются, во-первых, зависимость от внешних условий, во-вторых, небольшая частота реализации коррекции, обусловленная низкой частотой обновления спутниковой информации. Все это делает проблемным использование такого способа в условиях высокودинамических объектов. А, следовательно, возникает необходимость разработать новые способы коррекции в этих условиях.

© В. Б. Успенский, М. В. Некрасова, И. А. Багмут, 2018